

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-194077

(43)公開日 平成5年(1993)8月3日

(51)Int.Cl.⁵

C30B 15/00

15/30

30/04

//H01L 21/208

識別記号

Z

庁内整理番号

9151-4G

9151-4G

7821-4G

P

7353-4M

FI

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数8(全11頁)

(21)出願番号 特願平4-215973

(22)出願日 平成4年(1992)8月13日

(31)優先権主張番号 744891

(32)優先日 1991年8月14日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 592182621

エムイーエムシー・エレクトロニック・マ
テリアルズ・インコーポレイテッド

MEMC ELECTRONIC MAT
ERIALS, INCORPORATED

アメリカ合衆国63376ミズーリ州 セン
ト・ピーターズ、パウル・ドライブ501番

(72)発明者 ロジャー・エイ・フレデリック

アメリカ合衆国63376ミズーリ州セント・
ピーターズ、パウル・ドライブ501番 エ
ムイーエムシー・エレクトロニック・マテ
リアルズ・インコーポレイテッド内

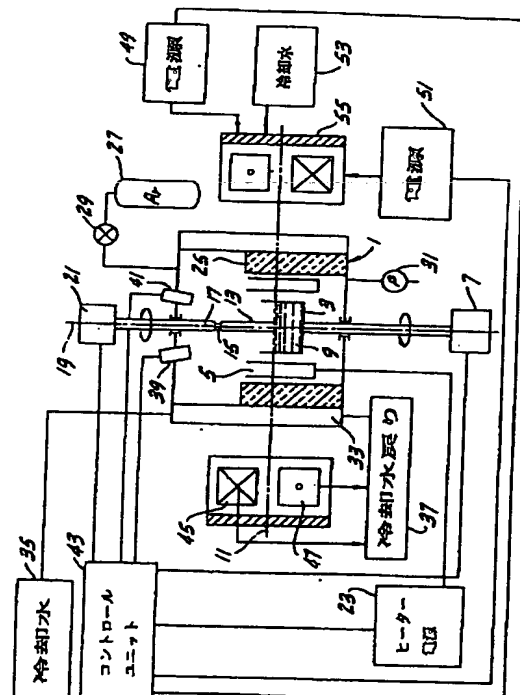
(74)代理人 弁理士 青山 葆 (外1名)

(54)【発明の名称】 単結晶シリコンロッドの製法

(57)【要約】

【構成】 単結晶シリコンロッドをルツボに收容されて
いるシリコン溶融物から引き上げ、単結晶シリコンロッド
およびルツボが同軸であり、単結晶シリコンロッドを
製造する方法であって、所定の単結晶ロッド直径が定ま
った後に、シリコン溶融物の固化部分が増加するととも
に、ルツボの回転速度を増加し、磁界の強度を減少させ
ることを特徴とする方法。

【効果】 シリコンロッドにおける酸素の濃度および分
布を調整する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 チョクラルスキー法により所定直径の単結晶シリコンロッドを製造する方法であって、単結晶シリコンロッドを、ルツボに収容されているシリコン溶融物から引き上げ、単結晶シリコンロッドおよびルツボが同軸であり、方法が、ルツボの回転速度よりも大きい単結晶ロッドの回転速度で、それらの軸のまわりで反対方向に単結晶ロッドおよびルツボを回転させ、およびシリコン溶融物の一部分が固形化するまで、ロッド軸のまわりで実質的に軸方向に10 対称である磁界をシリコン溶融物にかけ、なお、磁界は、ルツボの底および側壁を垂直に横切る成分および溶融シリコン表面を垂直に横切る成分を有しており、底および側壁を垂直に横切る平均磁界成分は、溶融シリコン表面を垂直に横切る平均磁界成分よりも大きい、工程を含んでなり、所定の単結晶ロッド直径が定まった後に、シリコン溶融物の固形化部分が増加するとともに、ルツボの回転速度を増加し、磁界の強度を減少させることを特徴とする方法。

【請求項2】 シリコン溶融物の固形化部分が約0.5を越えた後に、ルツボの底および側壁を垂直に横切る磁界成分を0に減少させる請求項1記載の方法。

【請求項3】 シリコン溶融物の固形化部分が約0.8を越えた後に、ルツボの底および側壁を垂直に横切る磁界成分を0に減少させる請求項1記載の方法。

【請求項4】 結晶ロッドを引き上げる場合に、単結晶回転速度がルツボ回転速度よりも少なくとも約5 rpm 大きい請求項1～3のいずれかに記載の方法。

【請求項5】 単結晶ロッドの直径が約200mmであり、ルツボおよび単結晶ロッドの回転速度の合計が約27 rpm を越えない請求項1～4のいずれかに記載の方法。

【請求項6】 単結晶ロッドの直径が約150mmであり、ルツボおよび単結晶ロッドの回転速度の合計が32 rpm を越えない請求項1～4のいずれかに記載の方法。

【請求項7】 シリコン溶融物に接触するルツボの底および側壁を垂直に横切る磁界成分の平均が初めに少なくとも約500 Gaussである請求項1～6のいずれかに記載の方法。

【請求項8】 単結晶ロッドにおける軸方向酸素濃度勾配が約5%を越えない請求項1～7のいずれかに記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、カスプ磁界の変化ならびに結晶およびルツボの回転速度の大きさの変化の組合せによって、チョコラルスキー (Czochralski) 引き上げシリコンロッドにおける酸素の濃度および分布を調整

する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 容器に蓄えられた溶融液体から結晶を成長させる場合に、容器の構成物質が部分的に溶融液体に溶解して、生成結晶における不純物となる。シリコンの溶融温度 (約1420℃) において、溶融物に接触しているシリカ (SiO₂) ルツボの表面が溶解する。溶解したシリカのいくらかの部分は溶融物の表面からSiO (一酸化ケイ素) として蒸発する。溶解したシリカの他の部分は、成長結晶に入り込む。溶解したシリカの残りが、シリコン溶融物に保たれる。従って、シリコン溶融物を収容するために使用されるシリカルツボは、従来のチョコラルスキー法により成長させたシリコン結晶に見られる酸素の供給源である。

【0003】 シリコン結晶における酸素は、好ましい影響と好ましくない影響の両方を有する。種々の電気デバイスの製造時の種々の熱処理において、結晶中の酸素は、結晶欠陥、例えば、沈澱、転位ループおよび積層欠陥を生じさせることがあり、あるいは電気的活性欠陥を生じさせることがあり、劣った性能特性を有するデバイスとなる。しかし、結晶中の酸素の固溶体は、シリコンウェハーの機械的強度を増加させ、結晶欠陥は、重金属の汚染物を捕捉することによって、適格製品の歩留まりを向上させることができる。従って、シリコン結晶中の酸素含量は、シリコンウェハーの最終用途の要求に従って注意深く制御されるべき製品品質の重要な要因である。

【0004】 1980年代前半において工業的に広く行われていたチョコラルスキー条件下で成長されるシリコン結晶中の酸素濃度は、結晶の長さに沿って変化し、例えば、結晶の中央および/または底または中子末端においてよりも種末端において高かった。加えて、酸素濃度は、結晶の横断面の半径に沿って変化した。

【0005】 フレデリックら (Frederick et al) は、アメリカ合衆国特許第4,436,577号において、シリカルツボに収容されているシリコンの溶融物上の種結晶の作用から引き上げるシリコン結晶ロッドにおける酸素含量および酸素含量分布を調整する1つの方法を提案している。この方法によれば、酸素の分布は、ルツボの溶融レベルが減少するようにルツボ回転速度を増加させながら、溶融物ルツボ回転の回転に対して反対方向に、より大きな回転速度で溶融物から引き上げる結晶種ロッドを回転させることによって調整される。

【0006】 しかし、近年のシリコン半導体技術の進展により、フレデリックらの特許に開示されているものに比較して大きな直径のシリコン結晶が得られている。結果的に、溶融物仕込み重量の増加および大きなルツボ直径が必要になっている。加えて、半導体製造技術は、発達し、インゴットからシリコンウェハー切出物における一般に低くかつより正確に制御された量の酸素を必要と

している。従って、安定な結晶成長が可能である結晶およびルツボ回転速度の範囲を限定する大きな物理的パラメーターによって課される物理的拘束に原因して所望の全濃度範囲において酸素含量を均一化することは次第に難しくなりつつある。

【0007】この次第に難しくなっている酸素制御問題に対する解決法として、近年、軸的に対称で半径方向のカスプ磁界の使用に対して注目が集まっている。この方法は、特開昭58-217493号公報に示唆されている。この方法によれば、反対方向に環状電流を流す一對のコイルが熔融液体の上でおよび下で配置されている。結果的に、熔融液体の深さの1/2の位置で、半径方向水平磁界が形成される。出願人によれば、半径方向カスプ磁界は熔融液体の流動を拘束し、従って、熔融物を安定化し、ルツボからの汚染を防止する。

【0008】バラクロラ (Barraclough et al) は、国際出願公開WO89/08731において、カスプ磁界法に対する改良を示唆している。バラクロラによれば、磁界は、成長結晶と熔融物との間の界面で500 Gauss未満である結晶回転軸に平行である磁界の成分を有するべきであり、熔融物の他の部分で500 Gaussを超える値を有しており、磁界のこの分布は、結晶成長時に保持される。

【0009】ヒラタらは特開平1-282185号公報において、異なった改良法を示唆している。ヒラタらによれば、酸素などの移動不純物は、熔融物にカスプ磁界をかけ、ルツボおよび結晶を反対方向に回転させ、および結晶の回転速度よりも大きい回転速度でルツボを回転させることによって制御されている。ヒラタらは特開平2-55284号公報において、別の改良法を示唆している。ヒラタらによれば、酸素などの移動不純物は、熔融物にカスプ磁界をかけ、および熔融液体の表面を垂直に横切る磁界成分の強度と、熔融液体の底表面を垂直に横切る磁界成分の強度との比を変化させることによって制御されている。この比は、(1) (コイル間の距離を一定にしながら) ルツボに対してコイルを移動することによって、(2) コイル間のアンペア回数比を変えることによって、または(3) コイル間の距離を変えることによって変化し得る。

【0010】現在までに提案されたカスプ磁界法のいずれも、十分に満足出来るものではない。ある条件下で、カスプ磁界において成長された結晶は、軸的磁界において観測されたものと同様に低い軸方向および半径方向均一性を示す。問題は、固形化プロセスの後段階において生じる傾向にあり、これは、その領域でのかかなり強い鉛直方向に向いた磁界の付近で淀みゾーンにおける酸素または酸素含有化合物の堆積の結果であろうと考えられる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的の中で、

シリカルツボに収容されているシリコンの熔融物上で種結晶の作用から引き上げられるシリコン結晶ロッドにおける酸素含量および酸素含量分布を調節する方法を提供すること、均一な酸素含量の分布および所望レベルの酸素含量を与えるそのような方法を提供すること、およびかなり大きな直径およびかなり低い酸素含量を有するシリコンロッドの製造において使用するのに適したそのような方法を提供することが挙げられる。

【0012】

【課題を解決するための手段】従って、簡潔に言えば、本発明は、ロッドと同軸であるルツボに収容されているシリコン熔融物から単結晶シリコンロッドを引き上げ、シリコンロッドを製造するチョクラルスキー法に関する。この方法において、ロッドおよびルツボは、それらの軸のまわりで反対方向に回転されており、ロッドが成長する時に、ロッドの回転速度は、ルツボの回転速度よりも大きい。ロッドの長さが増加すると、ルツボの回転速度が増加される。シリコン熔融物の一部分が固形化するまで、ロッドの軸のまわりで実質的に回転的に対称である磁界がシリコン熔融物にかけられ、磁界は、ルツボの底および側壁を垂直に横切る成分を有する。シリコン熔融物の固形化部分が増加するとともに、ルツボの底および側壁を垂直に横切る磁界成分の強度を減少させる。本発明の他の目的は以下において部分的に指摘されており、部分的に明白である。

【0013】図1において、本発明に従って使用されるチョクラルスキー結晶成長装置を示す。真空チャンバー1の中でルツボ3が抵抗ヒーター5によって包囲されている。ルツボ駆動ユニット7が、矢印によって示されるように時計方向にルツボを回転させ、必要のようにルツボを上昇または降下させる。ルツボ3の中で、シリコン熔融物9はメルトレベル11を有しており、プルシャフトまたはケーブル17に取り付けられた種結晶15で開始してシリコン熔融物から単結晶13が引き上げられる。ルツボ3および単結晶13は、対称の共通軸19を有する。プルシャフトまたはケーブル17を、結晶駆動ユニット21によって反時計方向に回転させ、必要のように上昇または降下させる。ヒーター電源23は抵抗ヒーター5にエネルギー供給し、絶縁25が真空チャンバー1の内壁にライニングされている。ガスを真空ポンプ31によって真空チャンバー1から除去するとともに、アルゴンガスをガスフローコントローラー29によってボトル27から真空チャンバー1に供給する。真空チャンバー1はチャンバー冷却ジャケット33によって包囲されており、ジャケット33には溜35から冷却水が供給されている。次いで、冷却水は冷却水戻りマニホールド37にドレインされる。光電池39が熔融物表面温度を測定し、直径トランスデューサー41が単結晶13の直径を測定する。これらの信号は、コントロールユニット43によって処理される。このコントロールユニット

は、プログラムされたデジタルまたはアナログコンピューターであってよい。これは、ルツボおよび単結晶駆動ユニット7および21、ヒーター電源23、上部および下部コイル電源49および51、ポンプ31ならびにアルゴンフローコントローラー29を制御する。

【0014】シリコン溶融物表面11のそれぞれ上および下に位置しており、対称軸19を有する上部ソレノイドコイル45および下部ソレノイドコイル47が真空チャンバー1を包囲している。上部コイルおよび下部コイルは、コントロールユニット43にそれぞれ接続されている別個の電源、上部コイル電源49および下部コイル電源51を有する。電流が2つのソレノイドを反対方向に流れ、カスプ磁界を形成する。冷却水が溜53から上部および下部コイルに供給されており、冷却水戻りマニホールド37にドレインされる。鉄シールド55が上部および下部コイルを包囲し、漂遊磁界を減少し、形成磁界の強度を増強する。

【0015】シリコン単結晶を成長させるため、ポリシリコンがルツボ3に仕込まれ、電流がヒーター5を通過し、仕込物を溶融する。シリコン溶融物は、当技術で既知であるようにシリコンの電気特性を変える目的で導入されるドーパントを含んでいてもよい。アルゴンなどの不活性雰囲気の中で、種結晶15を降下させて、溶融物と接触させ、次いで溶融物から徐々に引き上げると、シリコンは種上で固形化し、単結晶が成長する。引き上げるとともに、所定速度で結晶を回転させることによって円筒状の単結晶ロッド13が得られる。ルツボを第2の速度で同様に回転させるが、ロッドに対して反対方向に回転させる。引き上げ速度およびヒーターへの電力は初めに制御されており、結晶のネックダウンを生じさせ、次いで、調節され、所定の結晶直径が得られるまで円錐形状で結晶直径を増加させる。次いで、プロセスが終末になるまで一定直径を保つように、引き上げ速度および加熱は制御される。この時点で、引き上げ速度および加熱は増加され、直径が減少して単結晶ロッドの末端で円錐部分を形成する。

【0016】単結晶13が所定直径（例えば、150mmまたは200mm）に達した後、単結晶およびルツボの回転速度は制御され、軸方向および半径方向の両方において酸素の濃度および分布を調節する。ルツボの回転速度は典型的には1~10rpm、好ましくは少なくとも約4rpmである。単結晶の回転速度は、ルツボの回転速度よりも実質的に大きく、典型的には約10~20rpmであり、ルツボの回転速度よりも少なくとも約5rpm大きい。加えて、溶融シリコンにおける波の形成を防止するために、ルツボおよび単結晶の回転速度は制御され、合計は所定値を越えない。所定値はそれぞれのシステムについて実験的に決められ、単結晶の直径、ルツボの直径およびルツボに仕込んだシリコンの量に依存する。例えば、ルツボおよび結晶回転速度の合計は、1

50mmロッド、350mmルツボおよび34kgシリコン仕込みにおいて約32rpmを越えず、200mmロッド、450mmルツボおよび60kgシリコン仕込みにおいて約25rpmを越えない。

【0017】単結晶に組み込まれる酸素の量が溶融物に接触するルツボの面積のみならず、ルツボの回転速度にも依存することが以前からわかっている（本明細書に参照として組み込むアメリカ合衆国特許第4,436,577号参照）。一般に、所定のロッドおよびルツボ回転速度において仕込み溶融物の固形化部分が増加すると、ロッドの酸素含量は軸方向に減少する。従って、この影響は、固形化部分が増加するとともにルツボの回転速度を増加することによって少なくとも部分的に解消することができる。しかし、回転速度を制御することのみによって、かなり大きな直径およびかなり低い酸素濃度、例えば、約15PPMA未満（ASTM標準F-121-83）を有する単結晶ロッドにおける酸素含量を調整することはだんだん困難になっている。

【0018】処方されたプログラムに従って回転速度を制御し、半径方向カスプ磁界をシリコン溶融物にかけた場合に、かなり大きな直径の単結晶ロッドにおいて、特にかなり低い酸素濃度で、軸方向および半径方向に酸素濃度をより正確に調整できることがわかった。図1および図2を参照すれば、そのためのプログラムおよび装置が示されている。図示するように、電流が上部および下部コイル45および47を流れており（「・」は紙面から出て来る電流の流れを示し、「×」は紙面に入っていく電流の流れを示す）、従って、磁界がルツボ3およびシリコン溶融物9にかかる。磁界の形状は、ガウスで示される大きさを有するベクトル57によって特徴付けられる。磁界は、ルツボの底および側壁を垂直に横切る水平および鉛直成分を有する。加えて、磁界は、シリコン溶融物表面を垂直に横切る鉛直成分を有してよい。しかし、溶融シリコン表面を垂直に横切る平均磁界成分は、溶融シリコンに接触するルツボの底および側壁を垂直に横切る平均磁界成分に比較して小さいことが好ましく、即ち、溶融シリコン表面を垂直に横切る平均磁界成分は、溶融シリコンに接触するルツボの底および側壁を垂直に横切る平均磁界成分の約1/10よりも大きくなることが好ましい。最も好ましくは溶融シリコン表面を垂直に横切る平均磁界成分は0であるかまたは0付近であり、即ち、磁界零面がシリコン溶融表面にまたは該表面付近に位置する。2つのコイル45および47における鉛直位置、巻の数および相対的電流は、溶融物表面11の面でまたは面付近で零磁界を配置するように使用されてよい。

【0019】結晶引き上げ工程が開始されると、電流がコイル45および47を流れ、所定の強度を有する磁界がシリコン溶融物およびルツボにかけられる。所定強度は、ロッドの直径、ルツボの直径、仕込み量および所望

酸素含量に依存して変化するが、過度の実験なく容易に決めることができる。一般に、磁界は、数千ガウスよりも小さい所定最大強度を有しており、約400~1000ガウスの所定最大強度を有していることが最も好ましい。単結晶の長さが増加すると、即ち、仕込み溶融物の固化部分が増加すると、コイルを流れる電流の量が減少することによって、コイルがルツボに対して移動することによって、あるいは磁性シールドを移動または消滅させることによって、磁界の強度を減少させる。コイルを流れる電流の量を減少させることによって強度を減少させることが好ましい。

【0020】磁界の強度が減少すると、ルツボの底および側壁を垂直に横切る磁界成分が減少する。しかし、磁界の零面はシリコン溶融物表面でまたは表面付近で保たれるので、シリコン溶融物表面を垂直に横切る平均磁界成分と、シリコン溶融物に接触するルツボの底および側壁を垂直に横切る平均磁界成分との比には有意な差は存在しない。単結晶ロッドの長さが増加し、仕込み溶融物の固化部分が増加すると、磁界の強度を初期の値よりも小さい値に調整することが好ましいが、仕込み溶融物の所定部分が固化した後に、磁界を完全に消すことが好ましい。典型的には、仕込み溶融物の約50~80%が固化した後に、磁界を消すことが好ましい。その後、単結晶回転速度に対してルツボ回転速度を増加することによって酸素含量を調節する。

【0021】単結晶呼称直径、ルツボ直径、仕込みの大きさおよび磁界特性などのパラメーターに依存して、溶融物にかけられる磁界の強さを増加することおよび/または操作時の或る点でのルツボ回転速度を減少することが好ましい。(a) 磁界が初期のレベルよりも小さい値に減少されるおよび(b) 仕込み溶融物の一部分が固化された後に、ルツボ回転速度が単結晶回転速度に比較して増加される限りにおいて、そのような態様は本発明の範囲内である。

【0022】以下の実施例で示すように、本発明の方法*

項	係数	変数-線型
1	15.573	定数
2	-0.118	長さ
3	0.286	ルツボ回転
4	-2.153	磁界強さ
5	0.063	長さ/ルツボ回転
6	0.037	長さ*磁界

【0027】全ての係数は、0.0001またはそれ以下に有意であり、RMS誤差は0.44である。図3は、ランに対するモデルの合致を示す。図3において、×印はデータ点を示し、添字は界磁電流(キロアンペア)を示す。

【0028】図4~9は、結晶の6つの異なった長さにおける4つの異なった酸素レベルを与える、モデルで予想される界磁電流およびルツボ回転速度の組み合わせを

*は、かなり低い酸素濃度、即ち、15PPMA未満の酸素濃度を有する単結晶において酸素濃度を正確に制御するのに使用できる。単結晶ロッドは、半径方向に5%未満の酸素勾配、および軸方向に5%~10%未満、最も好ましくは5%未満の酸素勾配を有することが好ましい。実施例は、所望結果を達成するために使用できる1組の条件を述べている。図3と同様のデータが、他の結晶直径、磁界強さ、ルツボ回転速度、ルツボ寸法およびシリコン仕込みにおいて得られ得る。次いで、所望酸素軸方向分布を形成するための磁界傾斜プログラムおよびルツボ回転速度が、図10に示すように、導かれる。従って、実施例は、限定する意味で解釈してはならない。

【0023】

【実施例】以下の実施例は本発明を具体的に説明する。

【0024】実施例

図1および2の装置(但し、コイルは直列に接続されており、1つの電源からエネルギー供給されている)を用いて、34kgのポリシリコン仕込み量を有する350mm直径ルツボから、単結晶シリコンロッド(150mm呼称直径)を引き上げた。結晶の回転速度は12~24rpmであり、ルツボの回転速度は4rpmに固定した。1組のランにおいて、磁界をかけなかった。別の組のランにおいて、約400ガウスのシリコン-石英界面での平均強度を有する磁界になる、反対方向においてそれぞれのコイルを流れる1.5キロアンペアから生じる磁界を、図2に示すようにかけた。他の組のランにおいて、ルツボ回転速度および磁界強さを変化させた。

【0025】単結晶シリコンロッドにおける酸素の軸方向分布を求め、得られたデータ点を、酸素が従属変数であるモデルに合致させた。独立変数は、結晶の長さ、(コイル励起電流として示して)磁界、およびルツボ回転速度であった。モデルは、以下のように、6の係数を有する線型であった。

【0026】

係数の単位
PPMA (ASTM F121-83)
PPMA/CM
PPMA/RPM
PPMA/K AMP
PPMA*RPM/CM
PPMA/CM/K AMP

示している。特記しない限り、全ての酸素データはASTM標準F121-83に従って測定し、長さの単位はセンチメートルである。

【0029】図10は、13PPMAの一定酸素含量を与える、モデルで予想される磁界強さとルツボ回転速度のプログラム組み合わせを示している。このプログラムによれば、ルツボ回転速度は初めに5rpmに設定され、反対方向にそれぞれのコイルを流れる約2キロアンペ

アから生じる磁界が初めにかけられる。結晶を10、20、30および40 cmのそれぞれ引き上げた後、磁界強さは、示すように減少される。40 cm引き上げた時に、磁界強さを0に減少させる。磁界強さの減少と同時に、40 cmを引き上げた後にルツボ回転速度を5 rpmから6 rpmに増加させ、50 cmを引き上げた後にルツボ回転速度を10 rpmに増加させる。

【0030】図10と同様のデータが、他の結晶直径、磁界強さ、ルツボ回転速度、ルツボ寸法およびシリコン仕込み量において得られる。所望の酸素の軸方向分布を生成するためのルツボ回転速度および磁界強さ傾斜プログラムを導き得る。

【0031】前記を参照すれば、本発明の幾つかの目的が達成され、他の都合な結果が得られることがわかる。

【0032】本発明の範囲を逸脱することなく、前記方法において種々の変化をなすことが可能であり、前記記載に含まれるすべてのことがらは例示として解釈すべきであり、限定する意味で解釈してはならない。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の態様に従ったチョクラルスキー結晶成長装置の断面図である。

【図2】 実施例で述べた1組の条件(1500アンペア)の下で生成した磁界を示す図1の一部分の拡大図である。

【図3】 実施例で述べたように引き上げられた150 mmシリコン結晶ロッドの酸素濃度の線型モデルを示すグラフである。

【図4】 150 mmシリコン単結晶の長さ0 cmで4つの異なった酸素レベルを与える実施例のモデルで予測される界磁電流およびルツボ回転速度の組み合わせを示*

*すグラフである。

【図5】 150 mmシリコン単結晶の長さ10 cmで4つの異なった酸素レベルを与える実施例のモデルで予測される界磁電流およびルツボ回転速度の組み合わせを示すグラフである。

【図6】 150 mmシリコン単結晶の長さ20 cmで4つの異なった酸素レベルを与える実施例のモデルで予測される界磁電流およびルツボ回転速度の組み合わせを示すグラフである。

【図7】 150 mmシリコン単結晶の長さ30 cmで4つの異なった酸素レベルを与える実施例のモデルで予測される界磁電流およびルツボ回転速度の組み合わせを示すグラフである。

【図8】 150 mmシリコン単結晶の長さ40 cmで4つの異なった酸素レベルを与える実施例のモデルで予測される界磁電流およびルツボ回転速度の組み合わせを示すグラフである。

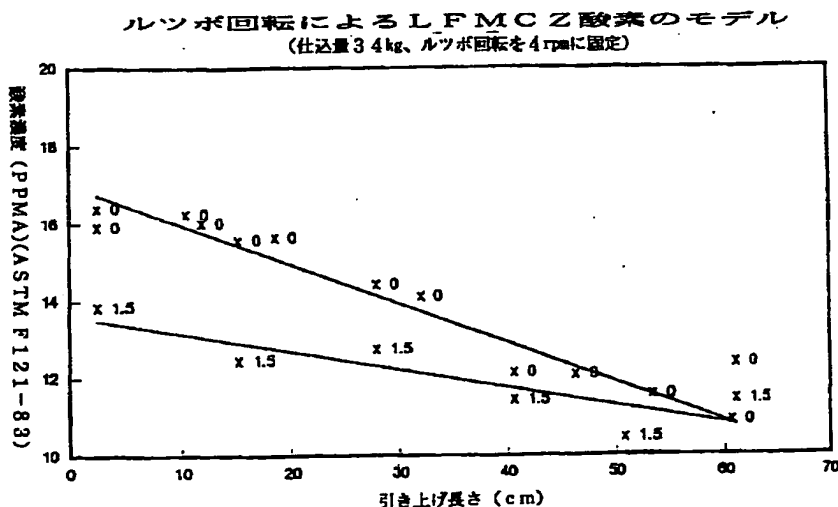
【図9】 150 mmシリコン単結晶の長さ50 cmで4つの異なった酸素レベルを与える実施例のモデルで予測される界磁電流およびルツボ回転速度の組み合わせを示すグラフである。

【図10】 150 mmシリコン単結晶の13 PPMの一定酸素含量を与える実施例のモデルで予測される界磁電流およびルツボ回転速度のプログラム組み合わせを示すグラフである。

【符号の説明】

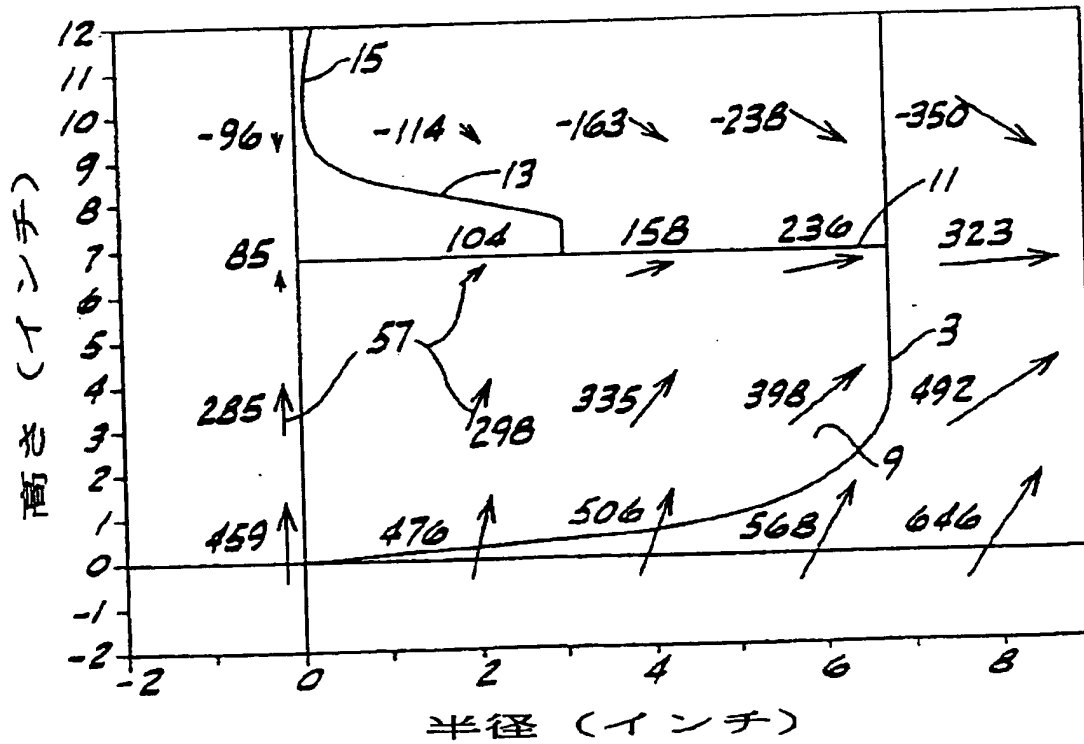
1…真空チャンバー、 3…ルツボ、 5…抵抗ヒーター、 7…ルツボ駆動ユニット、 9…シリコン溶融物、 13…単結晶、 15…種結晶、 17…シャフトまたはケーブル、 19…対称軸、 21…結晶駆動ユニット、 23…電源、 45、47…コイル。

【図3】



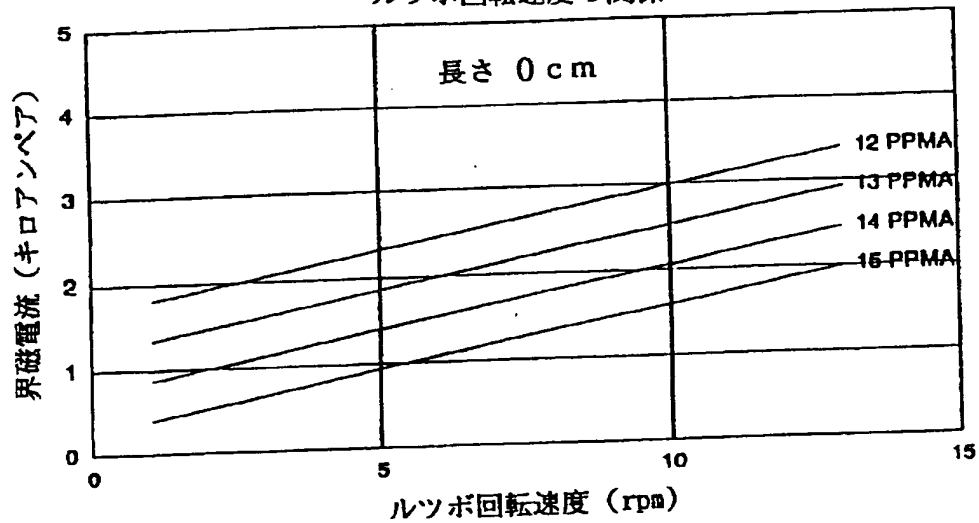
The diagram illustrates a temperature control system for a material processing apparatus. The central component is a processing chamber (1) containing a material (3) held by a support (9). A heating element (5) is positioned below the material, and a cooling element (15) is positioned above it. The chamber is surrounded by a cooling jacket (11) and a heating jacket (25). A temperature sensor (17) is located within the chamber. The system is controlled by a control unit (19) which is connected to a heater power source (23) and a cooling water supply (35). The heater power source (23) is connected to a heater (47) within the heating jacket (25). The cooling water supply (35) is connected to a cooling water pump (39) which circulates cooling water through the cooling jacket (11). A pressure gauge (31) is connected to the cooling water line. The control unit (19) also receives input from a temperature sensor (21) located in the cooling water line. The system is powered by a main power source (49) which is connected to the heater power source (23) and the cooling water pump (39). A cooling water reservoir (53) is connected to the cooling water pump (39). A pressure gauge (55) is connected to the cooling water line between the reservoir (53) and the pump (39). A power source (51) is connected to the pressure gauge (55).

【図2】



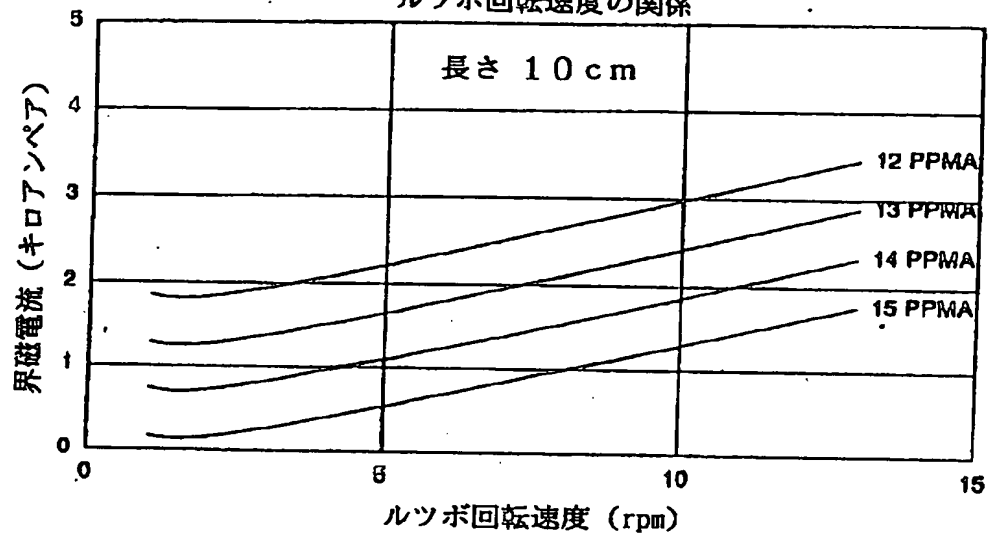
【図4】

種々の酸素目標値での磁界強さと
ルツボ回転速度の関係



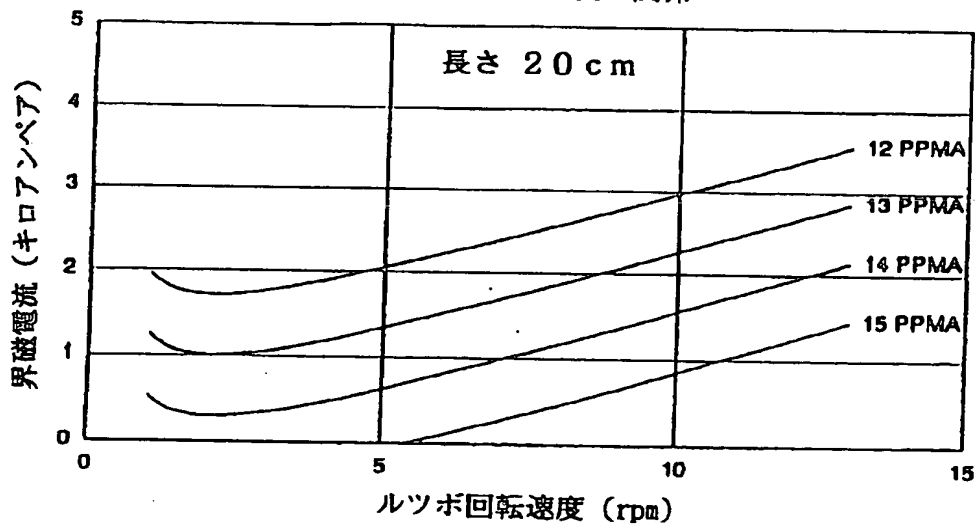
【図5】

種々の酸素目標値での磁界強さと
ルツボ回転速度の関係



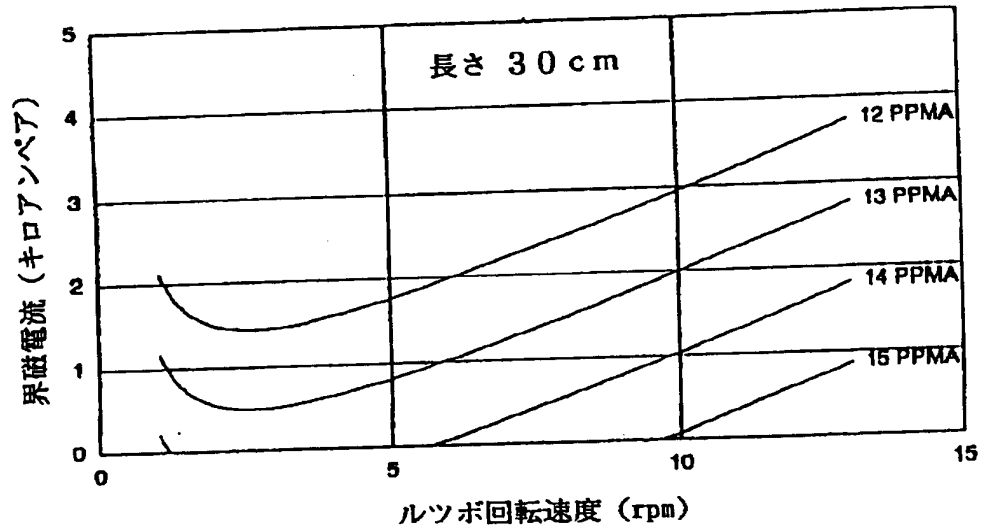
【図6】

種々の酸素目標値での磁界強さと
ルツボ回転速度の関係



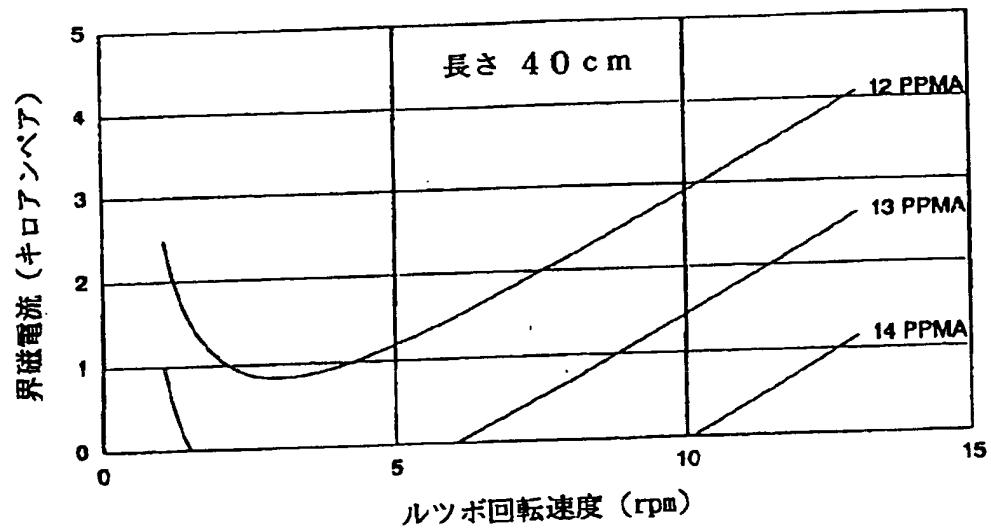
【図7】

種々の酸素目標値での磁界強さと
ルツボ回転速度の関係



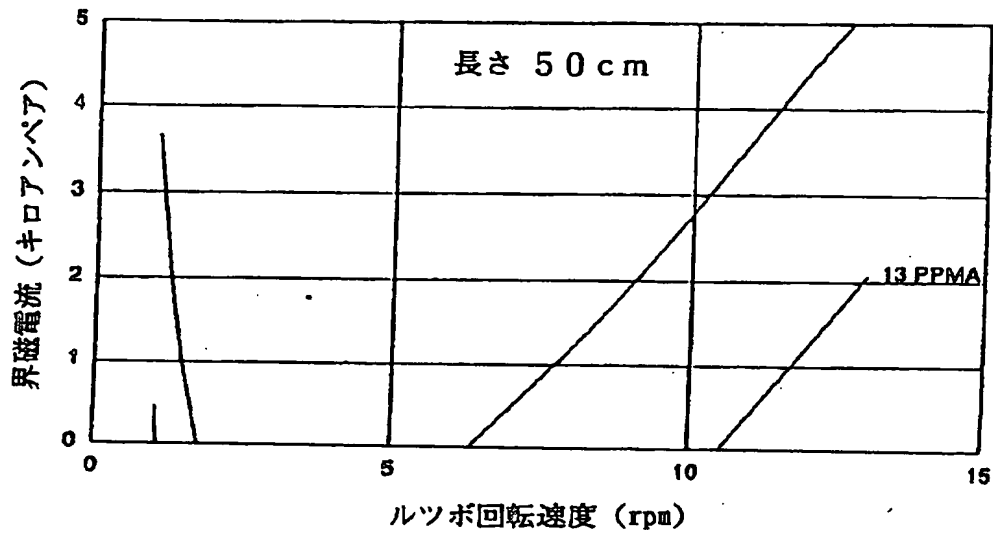
【図8】

種々の酸素目標値での磁界強さと
ルツボ回転速度の関係



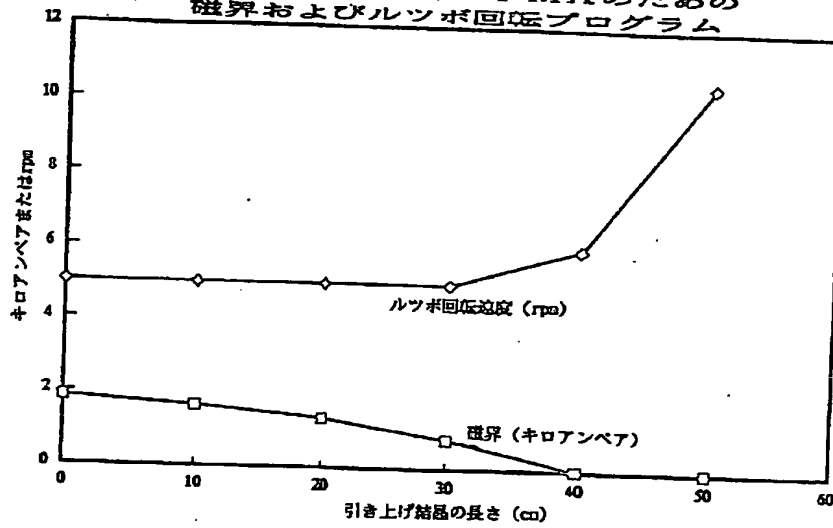
【図9】

種々の酸素目標値での磁界強さと
ルツボ回転速度の関係



【図10】

一定酸素濃度 13 PPMA のための
磁界およびルツボ回転プログラム



This Page Blank (uspto)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

this Page Blank (uspto)